

高齢運転者のブレーキ時における情報要因の解析

Analysis of Information Factors of Elderly Drivers at the Braking

○大野督史(電通大) 森田和元(交通研) 関根道昭(交通研) 田中健次(電通大)

Tokushi Ohno*1 Kazumoto Morita*2 Michiaki Sekine*3 Kenji Tanaka*4

*1, *4 University of Electro-Communications, Tokyo

*2, *3 National Traffic Safety and Environment Laboratory, Tokyo

In recent years, the number of elderly drivers' accidents are rapidly increasing. The increase will continue in the aging society of the future. Therefore it is necessary to reveal elderly drivers' characteristics of braking to prevent their accidents. This paper examines elderly drivers' characteristics of braking, especially drivers' braking time, in comparison of the young drivers based on the data of indoor experiments. We analyzed various factors such as leading vehicle velocity, leading vehicle deceleration, following velocity, following vehicle acceleration, relative velocity, relative acceleration, distance between cars, time headway, TTC (Time-to-Collision) by multiple regression analysis and neural network. The big difference in braking characteristics was not found between elderly drivers and young drivers. Key Word: elderly driver, braking time, ACC, multiple regression analysis, neural network

1 はじめに

現在日本では年間 100 万人を超える人が交通事故によって死傷している。医療技術の発達やエアバッグ等の車載システムの普及によって死者数は年々減少しているが、発生件数と負傷者数は逆に年々増加の傾向にあり、昨年はどちらも過去最高となっている [1]。特に 65 歳以上の高齢運転者による事故の増加が顕著で、12 年間で約 3.4 倍となり今後の高齢化社会の進行と共にさらに増えると予想される。そこで、高齢運転者による事故を低減するために車両側からの支援システムの必要性が高まってきている。また、高齢者の交通事故件数を事故類型別にみると出会い頭衝突事故と追突事故が特に多く、この二つで全体の約 6 割を占めている [2]。本研究では追突事故に焦点を当て、高齢運転者の操作特性の検討を行う事を目的とする。

追突事故を起こす大きな原因の一つとしてブレーキ操作の遅れが考えられ、先行車の減速時に適切なタイミングでブレーキ操作を行うことは追突事故防止に必要なことである。そのため、最近では減速時に車両側からブレーキ補助が受けられる様になってきている。しかし、運転者の意図するタイミングと車両側からの補助のタイミングが異なれば運転者に違和感を与えるおそれがある。そこで、先行車の減速時に後続車の運転者がこういった情報要因を基にしてブレーキを踏んでいるかを明らかにすることが重要になってくる。この際、高齢運転者のブレーキ操作と若年運転者の操作が同じであれば車両側からの補助のタイミングは同じでよいが、ブレーキ操作が異なれば高齢者用の設定を設けるべきである。そこで本研究では先行車の減速時において、後続車の運転者がこういった情報要因を基にブレーキを踏んでいるかをドライビングシミュレータを用いた室内実験により求め、高齢者と若年者の差異を明らかにする事を目的とした。

2 実験

2.1 実験目的

本実験では一定速で走行をしている先行車に追従走行し

ている状況を設定し、被験者には先行車の減速時に追突しないように普段の感覚でブレーキ操作を行ってもらった。そして、速度や車間距離等ブレーキ操作に関係があると思われる要因を測定し、高齢者と若年者のブレーキ操作の差異を明らかにすることを試みた。

2.2 実験概要

【場所】(独)交通安全環境研究所

【被験者】高齢者(65歳~72歳)15人の男女
若年者(25歳~39歳)15人の男女

【実験内容】

実験は高速道路を模擬したドライビングシミュレータを用いて行い、先行車の減速度・速度を Tab.1 の様に変化させた。さらにストップランプ点灯の有無両方の場合で行うので合計 24 通りの条件で実験を行った。減速度は 4m/s^2 の場合であっても急ブレーキという感じではなく、 1m/s^2 についてはすぐに気づくのも困難なくらいである。車間距離は隣の車線に他車を走らせて併走させることにより一定の車間距離を保って走らせるようにした。この際の車間距離は、先行車が急に停止しても安全に止まれる目安とされる「2秒ルール」[3]に従って速度ごとに設定した。

Table 1 Condition

		Vehicle deceleration(m/s^2)				Dinsance (m)
		1	2	3	4	
Velocity (km/s)	40					22
	70					38
	100					55

$3 \times 4 \times 2(\text{stoplight})=24$

先行車の減速開始のタイミングは、被験者の走行が車間時間 2 秒で定常状態になったときに実験者がランダムに決定するようにした。また、実験の順番は、まず速度を固定して減速度 4 通りとストップランプ点灯の有無の場合で合計 8 通りの条件をランダムに行い、8 通り全ての条件が終了してから次の速度で同様に行うようにした。被験者ごとに速度の順序もランダムに行った。

15名ずつの被験者のうち有効にデータが取れたのはそれぞれ高齢者12名・若年者14名で、残りの4名はドライビングシミュレータに酔ってしまい実験自体を最後まで行うことができなかった。

3 実験結果と解析

先行車の減速開始から自車の運転者が減速を開始するまでの時間を測定し、ブレーキ操作を行う判断の基となる情報要因について解析をした。初めに、先行車のストップランプ点灯の有無による先行車の減速開始から運転者がブレーキを踏み始めるまでの時間の差異についての解析を示す。

3.1 ストップランプ点灯の有無

先行車の減速開始から自車が減速を開始するまでの時間を、高齢者について Fig. 1 に、若年者について Fig. 2 に示す。時速 100km/h 減速度 1m/s^2 のときの実験条件を 100-1 のように表した。

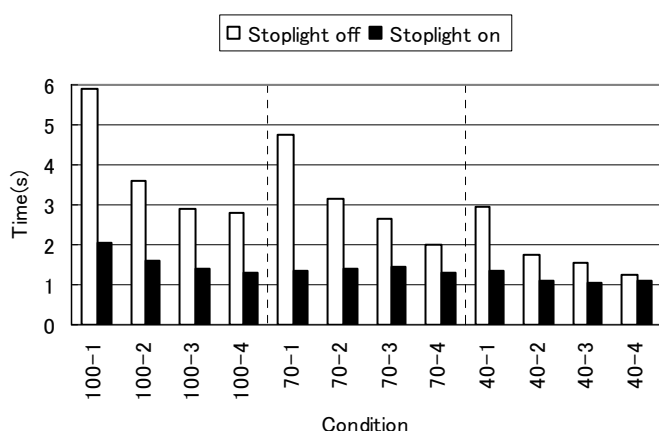


Fig. 1 Elderly drivers' braking time

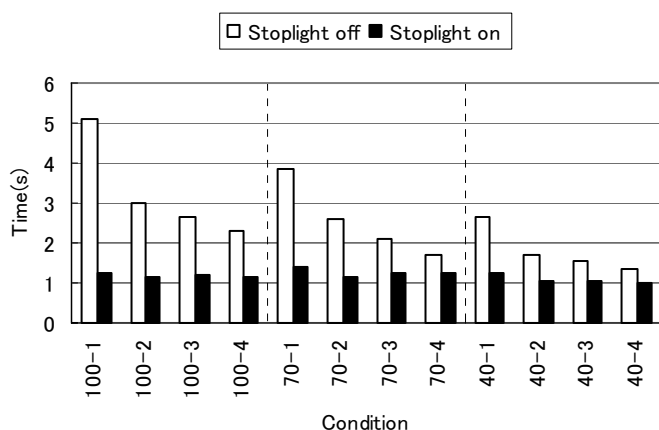


Fig. 2 Young drivers' braking time

高齢者・若年者共にストップランプ点灯の有無によってブレーキを踏み始めるまでの時間が大きく異なることがわかる。ストップランプが点灯しない場合において、減速度が 1m/s^2 の様な緩減速の場合にブレーキを踏み始めるまでの時間が長くなっているが、先行車に追突したりすることは無く安全に停止することができていた。また、先行車の速度ごとに実験条件を注目すると、先行車の速度が減少、減速度が増加するによってブレーキを踏み始めるまでの時

間が短くなっていることがわかる。

ストップランプが点灯する場合には、速度が同じとき、先行車の減速度にかかわらずブレーキを踏み始めるまでの時間がほぼ同じである。また、先行車の速度が変化してもブレーキを踏み始めるまでの時間に差はほとんどみられなかった。減速度が同じ場合においても、ストップランプが点灯しない場合のように速度間で大きく差が出るということは無かった。

以上より、ストップランプが点灯することによって後続車の運転者は先行車の速度や減速度と関係なくブレーキを踏んでしまっていることがわかる。特に、緩減速の場合においてはブレーキランプが点灯することによって運転者の本来意図するタイミングとは関係なく反射的にブレーキを踏んでしまっている場合があり、緩減速の場合にストップランプを点灯させることは後続車の運転者に対して好ましくないと考えられる。

3.2 ブレーキを踏む情報要因

先行車のストップランプが点灯することによって後続車の運転者はブレーキ操作を行っていることがわかったが、本来ブレーキ操作の要不要は車間距離や速度などに基づいて判断するべきである。そこで、ストップランプ点灯以外にブレーキ操作に影響を与える要因を調べるために、ストップランプ点灯が無い場合のデータを解析した。ブレーキを踏み始めるまでの時間を規定している要因は何か、重回帰分析を用いて解析した。そして得られた重回帰式から高齢者と若年者の特性の差異を明らかにすることを試みた。

3.2.1 説明変数の選択とデータの正規化

使用するデータはドライビングシミュレータによって記録した先行車や自車の速度や開始点からの位置・加速度等膨大なデータの中からブレーキ操作に関係すると考えられるデータを用いる。今回選択した説明変数は下記の9種類である。

- (1) 先行車の速度 (m/s)
- (2) 先行車の減速度 (m/s^2)
- (3) 自車速度 (m/s)
- (4) 自車加速度 (m/s^2)
- (5) 相対速度 (m/s)
- (6) 相対加速度 (m/s^2)
- (7) 車間距離 (m)
- (8) 車間時間 (s) (車間距離を自車速度で割った値)
- (9) TTC (s) (車間距離を相対速度で割った値)

(3)~(9)は自車に関するデータであり、走行中は運転者の挙動によって変化し、1/60秒ごとに値を記録している。追従走行が定常状態になったときに先行者が減速を開始するので、先行者の減速開始時点では追従走行時と同じ状況であると考えられる。そこで今回の解析では先行車の減速開始時刻を0とし、その0.5秒後のデータを説明変数に用いた。1.0秒後になると既に減速を開始している被験者もいるので説明変数には適していないとみなした。(1)・(2)は先行車のデータであり、実験条件が同じ場合は一定の値となっている。TTCに関しては相対速度が0に近いと値が ∞ に近づいてしまい、その影響が目的変数に強く出てしま

うので1/TTCを説明変数として用いて極端な値が出ないようにした。

また、それぞれの説明変数は単位が異なり、データの値の大きさによって目的変数への影響が変わってくる。そこで説明変数ごとに最大値 X_{max} 、最小値 X_{min} を調べ、次式によって0~1の間に正規化を行った。

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

この結果、説明変数は最小値0、最大値1のデータ群となり、単位の影響を受けずに解析を行うことができる。目的変数は先行車の減速開始から自車の運転者がブレーキを踏み始めるまでの時間とし、同様に正規化を行った。

3.2.2 重回帰分析による解析

9種類の説明変数の中のどの変数によってブレーキを踏むまでの時間を推測することができるかを考える、手動変数選択法を用いた重回帰分析[4]を行い、F比(分散比)の大小によって影響の大きい項目を選択した。重回帰分析表にはそれぞれの説明変数のF比と偏回帰係数が示されており、F比の大きさが説明変数を重回帰式に取り入れることの統計的優位性を表している。重回帰分析の結果を、高齢者についてTab.2に、若年者についてTab.3に示す。

Table 2 Elderly drivers' multiple regression analysis (Contribution 0.755)

explaining variable	variance ratio	partial regression coefficient
constant term	82.8438	-0.265
leading vehicle velocity	0.0255	
leading vehicle deceleration	0.2317	
following velocity	0.0314	
following acceleration	0.2649	
relative velocity	11.4472	0.238
relative acceleration	78.1106	0.409
distance between cars	197.4195	0.499
time headway	0.1343	
1/TTC	1.6283	

Table 3 Young drivers' multiple regression analysis (Contribution 0.711)

explaining variable	variance ratio	partial regression coefficient
constant term	8.8459	0.137
leading vehicle velocity	0.9707	
leading vehicle deceleration	74.9188	-0.282
following velocity	0.973	
following acceleration	2.0928	
relative velocity	6.7216	0.158
relative acceleration	1.9407	
distance between cars	175.2766	0.399
time headway	1.1496	
1/TTC	-999	

ここで、重回帰式の良さを判断する指標として寄与率を用いるが、寄与率は全ての説明変数を選択した場合に最大となってしまうため、ここでは自由度二乗調整寄与率 R^{*2} を基準とした。この値が1に近いほど良い重回帰式といえ

る。Tab.2の状態のときにさらに説明変数を選択した場合、 R^{*2} が大きく変化することはなかったため、これ以上説明変数を増やしても重回帰式の良さは変わらないと判断した。高齢者の R^{*2} は0.755、若年者の R^{*2} は0.711であった。

重回帰分析結果より高齢者の場合には、相対加速度・相対速度・車間距離の3つの説明変数と定数項による重回帰式が得られ、目的変数を y とすると

$$y = 0.409 \times \text{相対加速度} + 0.283 \times \text{相対速度} + 0.499 \times \text{車間距離} - 0.265$$

となる。また、若年者の場合では、減速度・相対速度・車間距離の3つの説明変数と定数項による重回帰式が得られ、

$$y = -0.282 \times \text{減速度} + 0.158 \times \text{相対速度} + 0.399 \times \text{車間距離} + 0.137$$

となる。

重回帰分析の結果、高齢者と若年者とは異なる説明変数でブレーキを踏むまでの時間を表す重回帰式が得られたが、相対速度・車間距離はどちらも共通で最後の説明変数が高齢者は相対加速度、若年者は減速度であった。これは実験の状況を考えると、先行者の減速開始のタイミングを追従走行が定常状態になったときに行うようにしているため、減速開始時には相対加速度は0に近い値であり、減速開始後は相対加速度=先行車の減速度と考えられるので、どちらの重回帰式もそれほど異なった結果になっていないといえる。実際、相対加速度と減速度の相関係数を調べたところ-0.95と高い相関を示した。

得られた重回帰式を用いてブレーキを踏むまでの時間を計算し、実測値との比較を行った。高齢者についてFig.3に、若年者についてFig.4に示す。

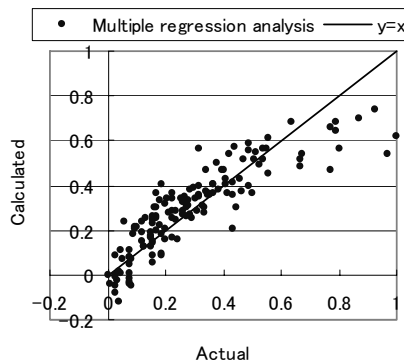


Fig.3 Elderly drivers' comparing

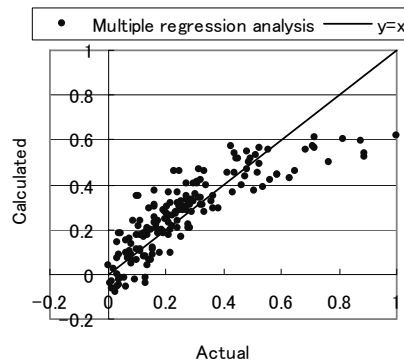


Fig.4 Young drivers' comparing

それぞれ x 軸に実測値をとり、y 軸に計算値をとるようにし、 $y=x$ の直線上が実測値と計算値の等しい点である。

高齢者・若年者どちらの場合にも実測値の大きいときの計算結果が実際の値よりも小さく計算されていることがわかる。また実測値が 0 付近ではマイナスの値も多く計算していることがわかる。

以上より、重回帰分析によって運転者のブレーキ操作を推測したが、まだ不十分な部分もある。これは重回帰分析が線形で処理をする方法であり、運転者のブレーキ操作は線形では表せないからと考えられる。

3.2.3 ニューラルネットワークによる解析

そこで非線形で処理を行うニューラルネットワークを用いて解析を行った。学習に用いたニューラルネットワークは階層型ニューラルネットワーク [5] で入力層、中間層、出力層の 3 層で構成される 3 層ニューラルネットワークである。学習はバックプロパゲーション法を用い、シグモイド関数は入力層と中間層の間にのみ用いた。

入力には重回帰分析に用いた 3 つの説明変数を用いた。即ち、高齢者の場合は相対加速度・相対速度・車間距離の 3 入力、若年者の場合は減速度・相対速度・車間距離の 3 入力とし、出力は先行車の減速開始からブレーキを踏み始めるまでの時間とした。

重回帰分析と同様に学習した結果を使用してブレーキを踏み始めるまでの時間を計算し、実測値との比較を行った。高齢者について Fig. 5 に、若年者について Fig. 6 に示す。

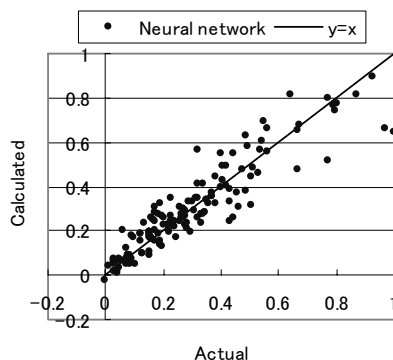


Fig.5 Elderly drivers' comparing

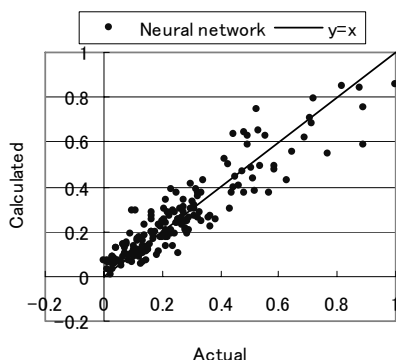


Fig.6 Young drivers' comparing

こちらも重回帰分析と同様に x 軸に実測値をとり、y 軸に計算値をとった。高齢者・若年者どちらの場合にも重回

帰分析で大きく値がずれていた箇所でも実測値に良くあっているのが分かる。実測値の大きいところは先行車の減速度が小さく、運転者のブレーキ操作の予測が困難なところなので、このような場合には線形よりも非線形で考えた方が良いと考えられる。

4 まとめ

高齢運転者のブレーキ操作特性を明らかにするために追従走行時中の先行車の減速開始に伴うブレーキ操作を調べる室内実験を行った。その結果、ストップランプ点灯の有無による影響が強いことがわかった。特に先行車の減速度が小さく、急なブレーキ操作を必要としない場合でも、ストップランプ点灯の場合にはすぐにブレーキを踏んでしまっているのが、運転者にとって好ましくないと考えられる。

また、ストップランプが点灯しない場合において、運転者がブレーキ操作を行う判断の基となる情報要因を知るために、ブレーキを踏み始めるまでの時間を重回帰分析とニューラルネットワークを用いて推測した。重回帰分析の結果、高齢者は相対加速度・相対速度・車間距離と定数項で重回帰式が得られ、若年者は減速度・相対速度・車間距離と定数項で重回帰式が得られた。高齢者と若年者では異なる説明変数で重回帰式を得る結果となったが、相対加速度と減速度は相関係数が高く、どちらの重回帰式もそれほど異なった結果になっていない。重回帰分析の場合に、先行車の減速度が小さくブレーキ操作の予測が困難な場合においては実測値と適合しない結果となったが、ニューラルネットワークを用いることによってこの場合に関しても精度が高くなった。従って、減速度が小さい場合には線形よりも非線形で考えた方が運転者のブレーキ操作を説明しやすいと考えられる。また、高齢者と若年者との間でブレーキ操作を比較した場合、高齢者の方がブレーキを踏み始めるまでの時間が若干長かったが、危険な状況になる様な顕著な差はみられなかった。

このように、今回の解析結果からは高齢者と若年者との間に顕著な差異はみられなかったが、高齢者は個人差や個人内差が大きいので、今後はさらに被験者を増やして一般性を強める必要がある。

参考文献

- [1] 警視庁ホームページ
<http://www.npa.go.jp/toukei/koutuu22/h16jiko.pdf>
- [2] 交通安全マップ
<http://www.kotsu-anzen.jp/index.html>
- [3] 松永勝也：「交通事故防止の人間科学」，株式会社ナカニシヤ出版，2002
- [4] (株)日本科学技術研修所：「JUSE-MA による多変量解析」，株式会社日科技連出版社，pp. 87-103，1997
- [5] 市川紘，階層型ニューラルネットワーク，共立出版株式会社，1993